

LAMPIRAN A
DATA PENELITIAN UNTUK LILITAN KAWAT EMAIL

Diameter Lubang bor = 5 cm
Lilitan Email 150 lilitan

Tegangan = 10 V
Arus = 2,2 A

Suhu kamar = 34 C
Vol awal parafin = 30 ml
vol akhir parafin = 25 ml

Waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	38	38	36	33	32	31
1	40	39	37	33	32	31
2	42	40	38	33	32	31
3	44	44	38	33	32	31
4	45	44	38	33	32	31
5	47	47	38	33	32	31
6	48	48	39	33	32	31
7	50	49	39	33	32	31
8	50	49	40	33	32	31
9	51	50	40	33	32	31
10	52	51	40	33	32	31
11	53	52	40	33	32	31
12	54	52	40	33	32	31
13	55	53	40	33	32	31
14	56	53	40	33	32	31
15	56	54	41	33	32	31

Tegangan = 20 V
Arus = 3,8 A

Suhu kamar = 30 C
Vol awal parafin = 60 ml
Vol akhir parafin = 50 ml

Waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	32	36	39	34	29	29
1	34	40	39	34	29	29
2	40	55	41	34	29	29
3	47	60	43	34	29	29
4	53	60	45	34	29	29
5	59	68	47	35	29	29
6	61	70	47	35	29	29
7	63	72	48	35	29	29
8	67	75	50	35	29	29
9	69	77	51	36	29	29
10	70	79	51	37	29	29
11	71	80	52	37	30	29
12	73	81	53	37	30	29
13	74	82	53	37	30	29
14	74	82	54	38	30	29
15	74	84	55	39	30	29

Tegangan = 30 V
Arus = 4,2 A

Suhu kamar = 34 C
Vol awal parafin = 50 ml
vol akhir parafin = 30 ml

Waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	38	42	39	37	33	30
1	44	48	41	37	33	30
2	51	51	43	37	33	30
3	59	54	45	37	33	30
4	67	58	47	37	33	30
5	73	62	48	37	33	30
6	78	63	48	37	33	30
7	81	66	49	38	33	30
8	82	68	50	38	33	30
9	84	72	52	38	33	30
10	88	76	54	38	33	30
11	92	78	54	39	34	30
12	96	82	59	39	34	30
13	109	87	63	40	34	30
14	120	87	65	40	34	30
15	140	87	66	40	34	30

Diameter Lubang bor = 7.5 cm
Lilitan Email 150 lilitan

Tegangan = 20 V
Arus = 2.8 A

Suhu kamar = 37 C
Vol awal parafin = 100 ml
Vol akhir parafin = 97 ml

Waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	27	27	27	27	27	28
1	32	30	30	28	29	28
2	37	34	34	28	29	28
3	49	37	35	28	29	28
4	54	38	36	29	29	28
5	59	40	37	29	29	28
6	61	41	38	30	29	28
7	63	42	39	30	29	28
8	64	43	39	30	29	28
9	66	44	40	30	29	28
10	67	45	40	30	29	28
11	67	46	41	30	29	28
12	68	48	41	30	29	28
13	68	48	42	31	29	28
14	68	48	42	32	29	28
15	69	50	43	33	30	28

Tegangan = 30 V

Arus = 3.8 A

Suhu kamar = 32 C

Vol awal parafin = 60 ml

Vol akhir parafin = 40 ml

Waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	32	30	30	35	35	30
1	40	34	40	35	35	30
2	44	35	40	35	35	30
3	45	40	45	36	35	30
4	65	45	46	36	35	30
5	70	49	46	36	35	30
6	74	52	48	37	35	30
7	77	54	49	38	35	30
8	78	54	49	38	35	30
9	79	56	50	38	35	30
10	80	57	51	38	35	30
11	80	58	51	39	35	30
12	80	59	52	39	35	30
13	80	60	53	39	35	30
14	81	61	53	39	35	30
15	81	62	55	39	35	30

Tegangan = 40 V

Arus = 4.2 A

Suhu kamar = 32 C

Vol awal parafin = 40 ml

Vol akhir parafin = 20 ml

Waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	42	30	30	32	35	30
1	42	42	33	33	32	30
2	52	45	39	33	32	30
3	59	47	40	33	32	30
4	67	50	41	33	32	30
5	75	53	43	33	32	30
6	83	55	44	33	32	30
7	88	57	45	34	32	30
8	91	59	46	34	32	30
9	94	60	47	34	32	30
10	95	61	48	34	32	30
11	99	62	48	34	32	30
12	99	63	49	34	32	31
13	101	65	49	34	32	31
14	101	66	50	35	32	31
15	101	66	50	35	32	31

Tegangan = 50 V

Arus = 4.4 A

Suhu kamar = 30 C

Vol awal parafin = 20 ml

Vol akhir parafin = 5 ml

Waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	39	30	30	30	29	29
1	50	46	44	36	29	29
2	59	47	44	36	29	29
3	68	49	46	36	29	29
4	80	53	50	37	29	29
5	87	56	52	37	29	29
6	91	59	54	37	29	29
7	94	62	57	38	30	29
8	96	64	58	39	30	29
9	99	66	59	39	30	29
10	101	68	60	40	30	29
11	103	70	63	40	30	29
12	105	76	64	41	30	29
13	107	83	66	42	31	29
14	108	84	67	42	31	29
15	109	85	68	43	31	29

Diameter Lubang bor = 10 cm

Lilitan Email 150 lilitan

Tegangan = 20 V

Arus = 2 A

Suhu kamar = 28 C

Vol awal parafin = 70 ml

Vol akhir parafin = 70 ml

Waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	29	29	29	29	27	26
1	30	29	29	29	27	26
2	32	31	31	30	27	26
3	33	32	31	30	27	26
4	34	33	31	30	27	26
5	35	33	31	30	27	26
6	36	33	31	30	27	26
7	36	33	31	30	27	26
8	36	34	32	30	27	26
9	37	35	32	30	27	26
10	38	35	32	30	27	26
11	38	35	32	30	27	26
12	38	35	32	30	27	26
13	38	35	32	30	27	26
14	38	35	32	30	27	26
15	38	35	32	30	27	26

Tegangan = 30 V

Arus = 2,6 A

Suhu kamar = 28 C

Vol awal parafin = 70 ml

Vol akhir parafin = 70 ml

Waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	39	36	34	29	27	26
1	40	37	34	30	27	26
2	42	38	35	31	27	26
3	43	39	35	31	27	26
4	45	40	36	32	27	26
5	46	40	37	32	28	26
6	47	40	37	32	28	26
7	47	41	38	32	28	26
8	48	42	38	32	28	26
9	48	42	38	32	28	26
10	49	42	39	33	28	26
11	49	42	39	33	28	26
12	49	42	39	33	28	26
13	49	43	39	33	28	26
14	49	43	39	33	28	26
15	50	44	40	34	28	26

Tegangan = 40 V

Arus = 3,6 A

Suhu kamar = 30 C

Vol awal parafin = 70 ml

Vol akhir parafin = 70 ml

Waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	41	41	39	34	29	26
1	45	42	39	34	29	26
2	49	44	40	34	29	26
3	50	45	41	35	29	26
4	52	45	41	35	29	26
5	53	46	42	35	29	26
6	55	47	43	35	29	26
7	57	48	43	35	29	26
8	58	49	44	35	29	26
9	59	50	45	36	29	26
10	60	51	46	36	29	26
11	61	51	46	37	29	26
12	61	52	46	37	29	26
13	61	52	47	37	29	26
14	61	52	47	37	29	26
15	62	53	48	37	29	26

Tegangan = 50 V

Arus = 3.8 A

Suhu kamar = 30 C

Vol awal parafin = 70 ml

Vol akhir parafin = 65 ml

Waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	38	40	38	35	31	26
1	44	42	39	35	31	26
2	51	45	41	35	31	27
3	58	47	43	36	31	27
4	61	49	44	36	31	27
5	64	51	45	36	31	27
6	65	52	46	37	31	27
7	67	54	47	37	31	27
8	68	55	48	38	31	27
9	68	55	49	38	31	27
10	69	56	50	38	31	27
11	70	57	50	39	31	27
12	71	58	51	40	31	27
13	71	58	51	40	31	27
14	72	60	53	40	31	27
15	73	61	53	40	31	27

Tegangan = 60 V

Arus = 4 A

Suhu kamar = 30 C

Vol awal parafin = 65 ml

Vol akhir parafin = 63 ml

Waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	34	34	34	39	32	27
1	34	34	34	39	32	27
2	54	40	52	39	32	27
3	65	44	57	39	32	27
4	74	46	62	39	32	27
5	76	47	64	40	32	27
6	79	48	66	40	32	27
7	80	49	67	40	32	27
8	82	50	70	41	32	27
9	83	51	71	42	33	28
10	84	52	72	42	33	28
11	85	53	73	43	33	28
12	86	54	75	43	33	28
13	84	54	76	43	33	28
14	84	55	77	44	34	28
15	84	55	77	44	34	28

Tegangan = 70 V
Arus I = 4.2 A

Suhu kamar = 30 C
Vol awal parafin = 63 ml
Vol akhir parafin = 50 ml

Waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	28	28	28	28	26	25
1	45	40	33	29	26	25
2	58	49	37	29	27	25
3	64	55	39	29	27	25
4	73	61	41	30	27	25
5	77	66	43	30	27	25
6	79	69	45	31	27	25
7	81	73	46	31	27	25
8	82	76	48	32	27	25
9	83	79	50	33	27	25
10	83	82	51	35	28	25
11	84	84	53	35	28	25
12	84	86	54	36	28	25
13	85	89	56	37	29	25
14	85	90	62	38	29	25
15	85	95	69	38	29	25

Tegangan = 80 V
Arus = 4.4 A

Suhu kamar = 30 C
Vol awal parafin = 50 ml
Vol akhir parafin = 30 ml

Waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	33	33	33	32	31	29
1	35	37	40	34	31	29
2	40	60	48	35	31	29
3	58	70	50	36	31	29
4	70	90	52	38	31	29
5	74	95	53	40	31	29
6	78	112	54	40	31	29
7	83	120	55	41	31	29
8	87	126	57	41	31	29
9	88	131	59	42	32	29
10	91	134	61	42	32	29
11	92	140	62	43	32	29
12	92	145	64	43	33	29
13	92	151	66	44	33	29
14	93	156	68	44	33	29
15	95	159	69	45	34	29

Diameter Lubang bor = 12,5 cm
Lilitan email 150 lilitan

Tegangan = 40 V
Arus = 3 A

Suhu kamar = 20 C
Vol awal parafin = 65 ml
Vol akhir parafin = 65 ml

Waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	40	40	40	35	35	31
1	46	42	53	42	35	31
2	48	47	54	42	35	31
3	49	47	54	42	35	31
4	50	48	54	42	35	31
5	52	48	54	42	35	31
6	52	49	54	42	35	31
7	53	49	54	42	35	31
8	53	49	54	42	35	31
9	53	49	54	42	35	31
10	53	49	54	42	35	31
11	53	49	54	42	35	31
12	53	49	54	42	35	31
13	53	49	54	42	35	31
14	53	49	54	42	35	31
15	53	49	54	42	35	31

Tegangan = 50 V
Arus = 3.4 A

Suhu kamar = 20 C
Vol awal parafin = 65 ml
Vol akhir parafin = 65 ml

Waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	35	40	43	42	34	30
1	36	42	45	42	34	30
2	43	47	47	42	34	30
3	45	48	47	42	34	30
4	48	50	48	42	34	30
5	50	51	48	42	34	30
6	52	53	49	42	34	30
7	54	53	49	42	34	30
8	56	54	49	42	34	30
9	58	55	49	42	34	30
10	58	56	49	42	34	30
11	58	56	49	42	34	30
12	58	56	49	42	34	30
13	58	56	49	42	34	30
14	58	56	49	42	34	30
15	58	56	49	42	34	30

Tegangan = 60 V
Arus = 3.8 A

Suhu kamar = 20 C
Vol awal parafin = 65 ml
Vol akhir parafin = 65 ml

Waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	38	30	30	42	34	30
1	48	48	47	42	34	30
2	50	51	48	42	34	30
3	54	54	49	42	34	30
4	56	55	49	42	34	30
5	58	57	50	42	34	30
6	59	58	51	42	34	30
7	60	59	51	42	34	30
8	61	59	52	42	34	30
9	62	60	52	42	34	30
10	62	61	52	42	34	31
11	63	61	52	42	34	31
12	63	62	52	42	34	31
13	63	62	53	42	34	31
14	64	62	53	43	35	31
15	65	63	53	43	35	31

Tegangan = 70 V
Arus = 4.2 A

Suhu kamar = 20 C
Vol awal parafin = 65 ml
Vol akhir parafin = 60 ml

waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	37	39	39	43	34	31
1	44	49	45	43	34	31
2	49	52	46	43	34	31
3	53	55	46	43	34	31
4	55	56	47	43	34	31
5	57	58	47	43	34	31
6	60	59	47	43	34	31
7	64	61	47	43	35	31
8	66	62	47	43	35	31
9	67	63	47	43	35	31
10	68	64	47	43	35	31
11	68	64	47	43	35	31
12	70	65	47	43	35	31
13	70	65	47	43	35	31
14	71	66	48	43	35	31
15	72	68	48	44	35	31

Tegangan = 80 V
Arus = 4.6 A

Suhu kamar = 26 C
Vol awal parafin = 60 ml
Vol akhir parafin = 60 ml

Waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	39	40	42	40	35	30
1	47	45	44	41	35	30
2	50	47	44	41	35	30
3	54	49	45	41	35	30
4	56	50	46	41	35	30
5	58	53	46	42	35	30
6	60	54	47	42	35	30
7	61	55	47	42	35	31
8	61	57	48	42	35	31
9	62	59	49	43	35	31
10	63	59	49	43	35	31
11	63	60	49	44	35	31
12	63	60	49	44	35	31
13	64	60	50	44	35	31
14	64	61	50	44	35	31
15	64	62	51	44	35	31

Tegangan = 90 V
Arus = 4.8 A

Suhu kamar = 20 C
Vol awal parafin = 60 ml
Vol akhir parafin = 60 ml

waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	39	43	39	39	36	30
1	47	50	47	43	36	30
2	51	52	50	43	36	30
3	56	55	53	44	36	30
4	60	58	54	44	36	30
5	63	60	56	45	36	30
6	63	61	57	45	36	30
7	64	62	57	45	36	30
8	65	63	58	45	36	30
9	66	64	58	45	37	30
10	66	65	59	45	37	31
11	67	66	59	46	37	31
12	67	66	60	46	37	31
13	67	67	60	46	37	31
14	68	68	60	47	37	32
15	69	69	61	48	38	32

LAMPIRAN B
DATA PENELITIAN UNTUK LILITAN KAWAT NIKELIN

Diameter Lubang bor = 5 cm

Lilitan nikelin 15 lilitan

Tegangan = 40 V

Arus = 1,6 A

Suhu kamar = 30 C

Vol awal parafin = 25 ml

Vol akhir parafin = 25 ml

Waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	32	36	33	36	35	30
1	34	36	35	36	35	30
2	37	37	35	36	35	30
3	41	39	35	36	34	30
4	44	40	36	36	34	30
5	49	41	36	36	34	30
6	53	42	36	36	34	30
7	57	42	37	36	34	30
8	59	43	37	36	34	30
9	62	43	37	36	34	30
10	65	43	37	36	34	30
11	66	43	37	36	34	30
12	68	44	37	36	34	30
13	68	44	37	36	34	30
14	69	45	37	36	34	30
15	69	45	38	36	34	30

Tegangan = 60 V

Arus = 2 A

Suhu kamar = 30 C

Vol awal parafin = 25 ml

Vol akhir parafin = 20 ml

Waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	35	35	34	35	33	29
1	40	43	36	36	33	29
2	46	49	37	36	33	29
3	58	51	40	36	33	29
4	63	53	40	36	33	29
5	68	55	40	36	33	29
6	74	58	40	36	33	29
7	78	61	41	37	33	29
8	82	62	42	37	33	29
9	86	64	43	37	33	29
10	93	68	43	37	33	29
11	96	68	43	37	33	29
12	101	68	43	37	33	29
13	103	68	43	37	33	29
14	105	69	44	38	34	30
15	108	69	44	38	34	30

Tegangan = 70 V
Arus = 2,4 A

Suhu kamar = 30 C
Vol awal parafin = 20 ml
Vol akhir parafin = 10 ml

Waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	37	34	34	36	34	29
1	46	43	41	38	34	29
2	53	51	43	38	34	29
3	63	62	44	38	34	30
4	67	62	45	38	34	30
5	74	62	45	38	34	30
6	78	62	45	38	34	30
7	84	62	45	38	34	30
8	88	62	45	38	34	30
9	96	62	46	39	34	30
10	102	64	47	39	34	30
11	109	66	47	39	34	30
12	113	67	47	39	34	30
13	117	68	47	39	34	30
14	121	69	47	39	34	30

Diameter Lubang bor = 7,5 cm
Lilitan nikelin 15 lilitan

Tegangan = 40 V
Arus = 1 A

Suhu kamar = 28 C
Vol awal parafin = 60 ml
Vol akhir parafin = 60 ml

waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	33	31	31	30	30	27
1	35	35	32	30	31	27
2	36	36	32	31	31	27
3	37	36	32	31	31	27
4	38	36	32	31	31	27
5	40	36	32	31	31	27
6	42	36	33	31	31	27
7	43	36	33	31	31	27
8	44	37	34	31	31	27
9	45	37	34	31	31	27
10	45	37	34	31	31	27
11	46	37	34	31	31	27
12	47	38	34	31	31	27
13	48	38	34	31	31	27
14	49	39	35	31	31	27
15	49	40	35	31	31	27

Tegangan = 80 V
Arus = 2 A

Suhu kamar = 28 C
Vol awal parafin = 60 ml
Vol akhir parafin = 60 ml

waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	34	34	33	29	29	27
1	37	35	34	30	30	27
2	42	39	35	30	30	27
3	44	39	36	31	30	27
4	48	41	37	31	31	27
5	51	42	37	31	31	27
6	53	44	39	31	31	27
7	53	45	39	31	31	27
8	54	46	40	32	32	27
9	55	47	41	32	32	27
10	56	48	42	32	32	27
11	57	49	43	33	32	27
12	59	50	43	33	32	27
13	59	51	44	33	32	27
14	60	52	44	34	32	27
15	61	53	35	34	33	27

Diameter Lubang bor = 10 cm
Lilitan nikelin 15 lilitan

Tegangan = 60 V
Arus = 1 A

Suhu kamar = 30 C
Vol awal parafin = 60 ml
Vol akhir parafin = 60 ml

waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	33	33	33	33	32	27
1	38	36	35	33	32	27
2	39	36	35	33	32	27
3	40	36	35	33	32	27
4	40	36	35	33	32	27
5	41	36	35	33	32	27
6	42	36	35	33	32	27
7	43	36	35	33	32	27
8	43	36	35	33	32	27
9	43	37	35	33	32	27
10	44	37	35	33	32	27
11	44	37	35	33	32	27
12	44	37	35	33	32	27
13	45	37	35	33	32	27
14	45	38	35	33	32	27
15	45	38	35	33	32	27

Tegangan = 100 V
Arus = 1,6A

Suhu kamar = 30 C
Vol awal parafin = 60 ml
Vol akhir parafin = 60 ml

waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	33	33	30	30	30	27
1	40	35	30	30	30	27
2	42	36	30	30	30	27
3	43	37	31	30	30	27
4	45	37	31	30	30	27
5	47	38	32	31	31	27
6	48	39	32	31	31	27
7	50	40	33	31	31	27
8	51	40	36	31	31	27
9	52	40	37	31	31	27
10	53	41	38	31	31	27
11	53	42	38	31	31	27
12	53	42	38	31	31	27
13	54	42	39	32	31	27
14	54	42	39	32	32	27
15	55	43	39	32	32	27

Tegangan = 140 V
Arus = 2 A

Suhu kamar = 30 C
Vol awal parafin = 60 ml
Vol akhir parafin = 57 ml

waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	35	35	30	30	30	27
1	43	38	34	34	34	27
2	46	39	35	34	34	27
3	49	41	37	34	34	27
4	52	44	38	35	34	27
5	54	44	40	35	34	27
6	58	45	40	36	35	28
7	60	47	40	36	35	28
8	62	48	40	36	35	28
9	63	48	41	36	35	28
10	63	49	41	36	35	28
11	63	50	42	37	35	28
12	64	51	42	37	35	28
13	65	51	42	37	35	28
14	65	51	42	37	35	28
15	65	51	42	37	35	28

Diameter Lubang bor = 12,5 cm
Lilitan nikelin 15 lilitan

Tegangan = 60 V
Arus = 1 A

Suhu kamar = 26 C
Vol awal parafin = 60 ml
Vol akhir parafin = 60 ml

waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	30	30	30	29	29	29
1	32	33	33	29	29	29
2	33	34	34	29	29	29
3	35	34	34	29	29	29
4	36	34	34	29	29	29
5	36	34	34	29	29	29
6	37	35	34	30	30	29
7	37	35	34	30	30	29
8	38	36	34	30	30	29
9	39	36	34	30	30	29
10	39	36	34	30	30	29
11	39	36	34	30	30	29
12	39	36	34	30	30	29
13	40	36	34	30	30	29
14	40	36	34	30	30	29
15	41	37	34	30	30	29

Tegangan = 120 V
Arus = 1,8 A

Suhu kamar = 26 C
Vol awal parafin = 60 ml
Vol akhir parafin = 60 ml

waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	33	33	33	31	30	30
1	35	35	35	31	30	30
2	38	37	36	32	32	31
3	42	39	37	32	32	31
4	44	39	37	33	32	31
5	47	40	38	33	32	31
6	49	41	39	33	32	31
7	50	41	39	33	32	31
8	51	42	39	33	32	31
9	52	42	39	33	32	31
10	53	42	39	33	32	31
11	54	42	39	33	32	31
12	56	43	39	33	32	31
13	57	43	39	33	32	31
14	57	43	39	33	32	31
15	58	43	39	33	32	31

Tegangan = 140 V
Arus = 2 A

Suhu kamar = 26 C
Vol awal parafin = 60 ml
Vol akhir parafin = 60 ml

waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	33	33	33	33	30	30
1	37	35	41	34	32	32
2	40	35	42	34	33	32
3	44	36	44	35	33	32
4	47	37	45	35	34	32
5	51	38	46	35	34	32
6	56	39	46	35	34	32
7	58	39	47	35	34	32
8	59	40	47	36	34	32
9	60	40	47	36	34	32
10	61	40	47	36	34	32
11	63	41	48	36	34	32
12	64	41	48	36	34	32
13	64	41	48	36	34	32
14	64	41	48	36	34	32
15	64	41	48	36	34	32

Tegangan = 160 V
Arus = 2,2 A

Suhu kamar = 26 C
Vol awal parafin = 60 ml
Vol akhir parafin = 57 ml

waktu (mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	33	33	33	33	33	30
1	43	39	39	36	34	34
2	46	40	41	36	34	34
3	51	41	42	37	34	34
4	56	42	43	37	35	34
5	60	43	43	37	35	34
6	64	44	44	37	35	34
7	65	45	44	37	35	34
8	68	46	45	38	35	34
9	69	47	45	38	35	34
10	70	47	45	38	35	34
11	71	48	45	38	35	34
12	71	48	45	38	35	34
13	71	48	45	38	35	34
14	71	48	45	38	35	34
15	71	48	45	38	35	34

LAMPIRAN C
DATA PENELITIAN UNTUK KAWAT EMAIL
PADA MEDIA PARAFIN MURNI

Diameter Lubang Bor = 5 cm
Email 150 lilitan

Tegangan = 20 V
 Arus = 4 A

Suhu kamar = 30 C

Waktu(mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	30	30	30	30	30	30
1	44	46	40	35	33	32
2	46	49	40	35	33	32
3	48	51	41	35	33	32
4	50	56	42	35	33	32
5	51	61	43	35	33	32
6	52	62	44	36	33	32
7	53	65	46	36	33	32
8	53	69	47	36	33	32
9	54	71	49	37	33	32
10	56	71	50	37	33	32
11	58	71	51	37	33	32
12	61	72	52	38	33	32
13	61	72	52	38	34	32
14	62	73	53	38	34	32
15	62	73	53	38	34	32

Tegangan = 30 V
 Arus = 4,8 A

Suhu kamar = 30 C

Waktu(mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	30	30	30	29	27	27
1	30	30	32	29	27	27
2	34	34	34	29	27	27
3	40	38	38	30	28	28
4	44	50	43	31	28	28
5	51	59	50	32	29	29
6	57	66	56	33	29	29
7	61	69	58	35	30	30
8	63	72	59	36	30	30
9	69	79	65	36	30	30
10	72	87	69	37	31	30
11	77	98	71	37	31	30

Diameter Lubang Bor = 7,5 cm

Email 150 lilitan

Tegangan = 20 V

Suhu kamar = 30 C

Arus = 3,2 A

Waktu(mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	30	30	30	29	29	28
1	32	34	31	29	29	28
2	33	36	32	29	29	28
3	33	37	33	29	29	28
4	34	39	35	30	29	28
5	34	41	36	30	30	28
6	35	42	37	31	30	29
7	35	44	39	31	30	29
8	35	45	40	31	30	29
9	35	46	40	31	30	29
10	35	47	41	32	30	29
11	36	48	43	32	30	29
12	36	49	43	32	30	29
13	36	50	45	32	30	29
14	36	51	45	33	30	29
15	36	52	46	33	30	29

Tegangan = 30 V

Suhu kamar = 30 C

Arus = 4,2 A

Waktu(mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	34	40	39	34	30	29
1	34	46	43	34	30	29
2	35	51	47	34	30	29
3	36	59	52	35	30	29
4	37	62	54	35	30	29
5	38	64	57	35	30	29
6	39	66	58	36	30	29
7	39	67	59	38	31	29
8	39	68	60	40	31	30
9	39	68	60	42	31	30
10	40	69	60	43	31	30
11	40	69	60	45	31	30
12	40	69	60	47	31	30
13	40	69	60	48	31	30
14	41	70	60	49	31	30
15	41	70	60	50	31	30

Tegangan = 40 V

Suhu kamar = 31 C

Arus = 4,8 A

Waktu(mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	39	40	39	32	30	29
1	41	60	54	44	33	29
2	43	65	57	45	33	30
3	44	69	59	45	33	30
4	45	70	60	45	33	30
5	48	72	61	46	33	30
6	49	73	63	48	33	30
7	50	74	64	50	34	30
8	53	74	65	53	34	31
9	55	75	68	54	35	31
10	57	76	69	55	36	31
11	59	77	70	56	37	32
12	61	79	71	57	44	32
13	63	79	72	58	48	32
14	64	79	72	59	52	33
15	65	79	72	59	54	34

Diameter Lubang Bor = 10 cm

Email 150 lilitan

Tegangan = 20 V

Suhu kamar = 30 C

Arus = 2,4 A

Waktu(mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	30	30	30	30	30	29
1	31	32	33	30	30	29
2	32	33	35	30	30	29
3	32	33	35	30	30	29
4	32	33	35	30	30	29
5	33	34	35	30	30	29
6	34	34	35	30	30	29
7	35	35	35	30	30	29
8	35	35	35	30	30	29
9	36	36	36	30	30	29
10	36	37	36	30	30	29
11	36	37	36	30	30	29
12	36	37	36	30	30	29
13	36	37	36	30	30	29
14	37	38	36	30	30	29
15	37	39	36	30	30	29

Tegangan = 30 V
Arus = 3,8 A

Suhu kamar = 30 C

Waktu(mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	32	33	31	30	30	29
1	35	36	33	30	30	29
2	35	37	34	30	30	29
3	36	38	35	30	30	29
4	36	39	35	30	30	29
5	37	40	35	30	30	29
6	37	40	36	30	30	29
7	37	41	36	30	30	29
8	37	41	36	30	30	29
9	37	42	37	30	30	29
10	38	43	40	30	30	29
11	39	45	41	31	30	29
12	40	46	42	31	30	29
13	41	47	43	31	30	29
14	41	49	44	31	30	29
15	41	50	44	31	30	29

Tegangan = 40 V
Arus = 4,6 A

Suhu kamar = 30 C

Waktu(mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	38	40	39	31	30	29
1	40	47	45	32	31	29
2	42	51	49	32	31	29
3	43	53	50	33	31	29
4	45	55	51	33	31	29
5	49	64	60	34	32	30
6	52	67	61	35	32	30
7	52	69	61	35	32	30
8	52	72	62	35	32	31
9	52	74	63	36	32	31
10	52	75	63	36	32	31
11	52	75	64	36	32	31
12	53	75	64	37	33	31
13	53	76	64	37	33	31
14	53	78	64	37	33	31
15	53	78	64	37	33	31

Diameter Lubang Bor = 12,5 cm
Email 150 lilitan

Tegangan = 20 V Suhu kamar = 31 C
Arus = 2 A

Waktu(mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	30	30	30	30	29	29
1	34	34	30	30	29	29
2	34	34	30	30	29	29
3	34	34	30	30	29	29
4	34	34	31	30	29	29
5	34	35	31	30	29	29
6	35	35	32	31	29	29
7	35	35	32	31	29	29
8	35	35	32	31	29	29
9	35	35	32	31	29	29
10	35	35	32	31	29	29
11	35	36	33	31	29	29
12	35	36	33	31	29	29
13	35	36	33	31	29	29
14	35	37	33	31	29	29
15	35	37	33	31	29	29

Tegangan = 30 V Suhu kamar = 31 C
Arus = 2,8 A

Waktu(mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	32	35	33	33	30	30
1	36	39	35	33	30	30
2	36	40	35	33	30	30
3	36	41	36	33	30	30
4	36	42	37	34	30	30
5	36	43	38	34	30	30
6	37	44	39	35	30	30
7	37	44	39	35	30	30
8	38	45	39	35	31	30
9	38	47	40	36	31	30
10	38	48	40	36	31	30
11	38	49	41	36	31	30
12	38	50	41	36	31	30
13	38	52	42	37	31	30
14	38	54	42	37	31	30
15	38	54	42	37	31	30

Tegangan = 40 V

Suhu kamar = 31 C

Arus = 3,6 A

Waktu(mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	35	35	35	34	30	30
1	38	54	42	37	31	30
2	38	56	43	38	32	31
3	39	60	45	39	32	31
4	40	64	47	40	32	31
5	40	65	48	40	32	31
6	41	66	50	41	33	31
7	41	67	52	41	33	31
8	41	68	54	42	33	32
9	41	68	55	43	33	32
10	41	68	56	44	33	32
11	42	68	57	45	34	32
12	42	68	57	46	34	32
13	42	69	57	47	34	32
14	43	69	58	48	35	32
15	43	69	58	48	35	32



LAMPIRAN D
DATA PENELITIAN UNTUK KAWAT NIKELIN
PADA MEDIA PARAFIN MURNI

Diameter Lubang Bor = 5 cm
Nikelin 15 lilitan

Tegangan = 20 V

Suhu kamar = 27 C

Arus = 1 A

Waktu(mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	27	27	27	27	26	26
1	27	27	27	27	26	26
2	27	28	28	27	26	26
3	27	28	28	27	26	26
4	28	29	29	27	26	26
5	28	29	29	27	26	26
6	29	30	29	27	26	26
7	29	30	29	27	26	26
8	30	31	29	28	26	26
9	30	32	29	28	26	26
10	30	33	30	28	26	26
11	30	34	30	28	26	26
12	30	35	30	28	27	26
13	31	35	31	28	27	26
14	32	36	31	29	27	26
15	33	37	31	29	27	26

Tegangan = 30 V

Suhu kamar = 29 C

Arus = 1,2 A

Waktu(mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	30	30	30	29	27	26
1	34	39	32	30	27	26
2	35	41	33	30	27	26
3	37	43	34	30	27	26
4	38	45	35	31	27	26
5	39	47	35	31	27	26
6	40	49	35	31	27	26
7	41	50	36	32	28	26
8	42	52	36	32	28	27
9	43	53	37	32	28	27
10	44	54	37	32	28	27
11	45	55	38	33	28	27
12	46	56	39	33	28	27
13	46	57	39	34	29	28
14	46	58	39	34	29	28
15	46	59	39	35	29	28

Tegangan = 40 V

Suhu kamar = 29 C

Arus = 1,8 A

Waktu(mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	34	39	32	30	29	29
1	42	49	36	33	29	29
2	43	51	38	33	29	29
3	44	53	40	34	29	29
4	46	55	41	35	29	29
5	47	57	41	35	29	29
6	49	60	42	35	30	29
7	51	62	44	36	30	29
8	52	63	44	36	30	29
9	53	65	45	37	31	30
10	54	67	46	37	31	30
11	55	69	47	38	32	30
12	55	69	48	39	32	30
13	55	70	49	39	32	30
14	56	71	49	40	32	30
15	56	72	49	40	32	30

Tegangan = 50 V

Suhu kamar = 30 C

Arus = 2 A

Waktu(mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	37	41	35	35	30	29
1	49	50	41	38	30	29
2	50	53	43	38	30	29
3	53	59	46	39	31	30
4	54	65	50	40	32	30
5	56	70	54	41	33	31
6	60	73	55	42	33	31
7	63	75	56	43	34	32
8	68	78	58	44	35	32
9	71	79	59	44	35	32
10	74	80	60	45	35	32
11	76	82	61	45	35	32
12	78	83	62	46	36	33
13	80	84	63	47	36	33
14	82	85	64	49	36	33
15	84	87	65	51	37	34

Diameter Lubang Bor = 7,5 cm
Nikelin 15 lilitan

Tegangan = 30 V

Suhu kamar = 31 C

Arus = 1 A

Waktu(mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	29	29	29	29	29	29
1	29	29	29	29	29	29
2	29	29	29	29	29	29
3	29	29	29	29	29	29
4	30	30	29	29	29	29
5	30	30	30	29	29	29
6	30	30	30	29	29	29
7	31	31	31	30	29	29
8	31	31	31	30	29	29
9	31	32	31	30	29	29
10	31	33	31	30	29	29
11	31	34	32	30	29	29
12	31	34	32	30	29	29
13	32	34	33	31	29	29
14	32	34	33	31	29	29
15	32	34	33	31	29	29

Tegangan = 40 V

Suhu kamar = 31 C

Arus = 1,2 A

Waktu(mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	32	34	33	31	29	29
1	35	36	34	31	29	29
2	37	37	35	32	30	30
3	37	37	35	32	30	30
4	38	38	35	32	30	30
5	38	38	35	32	30	30
6	39	39	35	32	30	30
7	40	40	36	32	30	30
8	41	41	37	33	31	30
9	41	41	37	33	31	30
10	41	41	38	33	31	30
11	41	41	38	33	31	30
12	42	42	39	33	31	30
13	42	42	39	33	31	30
14	43	43	39	33	31	30
15	43	43	39	33	31	30

Tegangan = 50 V

Suhu kamar = 31 C

Arus = 1,4 A

Waktu(mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	32	34	33	31	29	29
1	38	36	35	32	29	29
2	40	38	37	32	30	29
3	42	42	38	33	31	30
4	42	42	38	33	31	30
5	42	43	39	34	31	30
6	42	43	39	34	31	30
7	43	44	40	35	31	30
8	44	45	40	35	31	30
9	45	45	40	35	31	30
10	45	45	40	35	31	30
11	45	46	40	35	31	30
12	46	46	40	35	31	30
13	46	47	40	35	31	30
14	47	47	40	35	31	30
15	47	47	40	35	31	30

Tegangan = 60 V

Suhu kamar = 31 C

Arus = 1,6 A

Waktu(mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	33	34	33	30	30	30
1	37	38	35	32	30	30
2	42	42	38	33	31	30
3	44	45	39	34	31	31
4	44	45	40	34	31	31
5	45	45	41	35	31	31
6	47	47	42	35	31	31
7	47	48	42	35	31	31
8	48	49	43	36	31	31
9	49	50	44	36	32	31
10	49	50	44	36	32	31
11	50	51	45	36	32	31
12	50	52	46	37	32	31
13	52	53	47	37	33	32
14	52	55	47	38	33	32
15	52	55	47	38	34	32

Diameter Lubang Bor = 10 cm
Nikelin 15 lilitan

Tegangan = 50 V

Suhu kamar = 30 C

Arus = 1 A

Waktu(mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	35	35	35	34	34	34
1	39	38	39	36	36	36
2	39	38	39	36	36	36
3	39	38	39	36	36	36
4	39	38	39	36	36	36
5	39	39	39	36	36	36
6	39	39	39	36	36	36
7	39	39	39	36	36	36
8	39	40	39	36	36	36
9	39	40	39	36	36	36
10	39	40	39	36	36	36
11	39	40	39	36	36	36
12	39	40	39	36	36	36
13	39	40	39	36	36	36
14	39	40	39	36	36	36
15	39	40	39	36	36	36

Tegangan = 60 V

Suhu kamar = 31 C

Arus = 1,2 A

Waktu(mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	36	36	36	35	35	35
1	39	39	39	36	35	35
2	39	39	39	36	35	35
3	39	39	39	37	35	35
4	40	40	40	38	35	35
5	40	41	40	38	35	35
6	40	41	40	38	35	35
7	41	42	40	38	35	35
8	41	42	40	38	35	35
9	41	42	40	38	35	35
10	41	42	40	38	35	35
11	41	42	40	38	35	35
12	41	42	40	38	35	35
13	41	42	40	38	35	35
14	41	42	40	38	35	35
15	41	42	40	38	35	35

Diameter Lubang Bor = 12,5 cm
Nikelin 15 lilitan

Tegangan = 70 V

Suhu kamar = 31 C

Arus = 1 A

Waktu(mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	35	35	35	34	34	34
1	36	35	36	35	35	34
2	37	36	36	35	35	34
3	37	37	36	35	35	34
4	38	38	36	35	35	34
5	38	39	37	35	35	34
6	39	39	37	35	35	34
7	39	39	37	35	35	34
8	39	40	37	35	35	34
9	39	40	37	35	35	34
10	39	40	37	35	35	34
11	39	40	37	35	35	34
12	39	40	37	35	35	34
13	39	40	37	35	35	34
14	39	40	37	35	35	34
15	39	40	37	35	35	34

Tegangan = 80 V

Suhu kamar = 31 C

Arus = 1,2 A

Waktu(mnt)	Suhu 1	Suhu 2	Suhu 3	Suhu 4	Suhu 5	Suhu 6
0	35	35	36	35	34	34
1	38	38	38	35	35	34
2	38	39	38	35	35	34
3	38	39	38	36	35	34
4	39	40	39	36	35	34
5	39	41	39	37	35	34
6	39	41	39	37	35	34
7	39	42	39	37	35	34
8	40	42	39	37	35	34
9	40	42	39	37	35	34
10	40	42	39	37	35	34
11	40	42	39	37	35	34
12	40	42	39	37	35	34
13	40	42	39	37	35	34
14	40	42	39	37	35	34
15	40	42	39	37	35	34

LAMPIRAN E

LISTRIK STATIK

1. HUKUM COULOMB

Hukum Coulomb untuk muatan titik dapat dirumuskan secara singkat dalam lambang vektor sebagai:

$$\mathbf{F}_1 = C \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \frac{\mathbf{r}_{12}}{r_{12}}, \quad (\text{E.1.1})$$

$$\mathbf{r}_{12} = \mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2,$$

dengan \mathbf{F}_1 adalah gaya pada muatan q_1 , \mathbf{r}_{12} vektor ke arah q_1 , dari q_2 , \mathbf{r}_{12} harga vector \mathbf{r}_{12} dan C adalah tetapan kesebandingan.

Jika terdapat lebih dari dua muatan titik, maka gaya bersama ditentukan dengan penerapan berulang persamaan (E.1.1). Terutama jika sistem N muatan dipertimbangkan, maka gaya pada muatan ke-i diberikan sebagai:

$$\mathbf{F}_i = q_i \sum_{j \neq i}^N \frac{q_j}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mathbf{r}_{ij}}{r_{ij}^3}, \quad (\text{E.1.2})$$

$$\mathbf{r}_{ij} = \mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j,$$

Dengan mengesampingkan persoalan atom, kita dapat berbuat seakan-akan suatu segmen muatan dapat dibagi-bagi lebih lanjut ke dalam jumlah yang takterhingga banyaknya dan menggambarkan sebaran muatan dengan fungsi titik: rapat-muatan-volume yang didefinisikan sebagai

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta V} \quad (\text{E.1.3})$$

dan rapat muatan permukaan yang didefinisikan sebagai:

$$\sigma = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta S} \quad (\text{E.1.4})$$

Jika muatan tersebar pada suatu volume V dengan rapat ρ , dan pada permukaan S yang membatasi V dengan rapat σ , maka gaya yang diberikan oleh sebaran muatan itu pada muatan titik q yang terletak di \mathbf{r} diperoleh dari persamaan (E.1.2) dengan mengganti q_j dengan $\rho_j dv'_j$ (atau dengan $\sigma_j da'_j$) dan menghitung limitnya:

$$\mathbf{F}_q = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \int_V \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} \rho(\mathbf{r}') dv' + \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \int_S \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} \sigma(\mathbf{r}') da' \quad (\text{E.1.5})$$

2. MEDAN LISTRIK

Medan listrik di suatu titik didefinisikan sebagai limit angka banding gaya pada suatu muatan-uji yang diletakkan pada titik itu terhadap besarnya muatan uji, yaitu limit yang diambil jika besar muatan uji mendekati nol. Lambang yang lazim untuk medan listrik adalah E . Dalam lambang vektor definisi dari E menjadi:

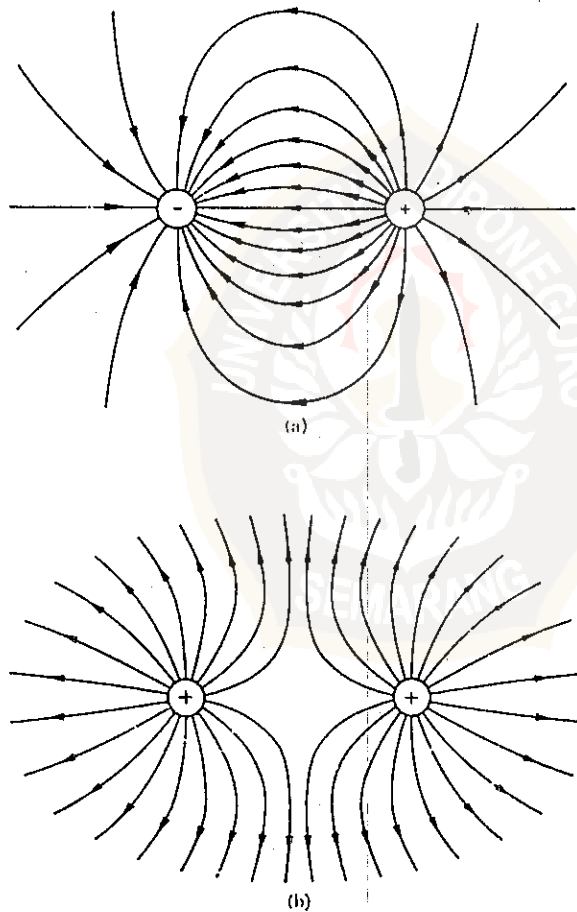
$$\mathbf{E} = \lim_{q \rightarrow 0} \frac{\mathbf{F}_q}{q} \quad (\text{E.2.1})$$

Jika suatu muatan uji q diletakkan di titik r , maka muatan uji akan mengalami gaya F yang diberikan oleh:

$$\mathbf{F} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N q_i \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}_i}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_i|^3} + \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \int_V \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} \rho(\mathbf{r}') dV' + \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \int_S \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} \sigma(\mathbf{r}') da', \quad (\text{E.2.2})$$

Medan listrik di \mathbf{r} adalah:

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N q_i \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}_i}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_i|^3} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_V \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} \rho(\mathbf{r}') dV' + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_S \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} \sigma(\mathbf{r}') da'. \quad (\text{E.2.3})$$



Gambar E.1. Pemetaan medan listrik dengan bantuan garis gaya

3. HUKUM GAUSS

Medan listrik di titik \mathbf{r} yang ditimbulkan oleh muatan titik q yang terletak di titik asal adalah:

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mathbf{r}}{r^3}. \quad (\text{E.3.1})$$

Apabila ditinjau integral permukaan dari komponen normal medan listrik ini pada permukaan tertutup seperti ditunjukkan gambar E.2 yang melingkupi titik asal, yang berarti juga melingkupi muatan q , integral ini adalah:

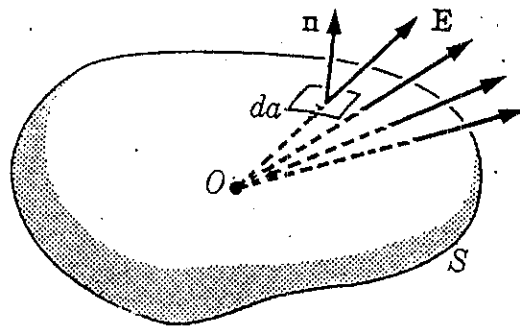
$$\oint_S \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} \, da = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \oint_S \frac{\mathbf{r} \cdot \mathbf{n}}{r^3} \, da. \quad (\text{E.3.2})$$

$(\mathbf{r} / r) \cdot \mathbf{n} \, da$ adalah proyeksi da pada bidang yang tegak lurus \mathbf{r} . Bidang yang diproyeksikan dan dibagi oleh r^2 ini merupakan sudut ruang yang dilingkupi oleh da , yang dituliskan sebagai $d\Omega$. Dari gambar E.3 jelas bahwa sudut ruang yang dilingkupi da' , yaitu bagian luas permukaan pada bola S' yang pusatnya terdapat di titik asal dan jajarinya \mathbf{r}' . selanjutnya dapat dituliskan:

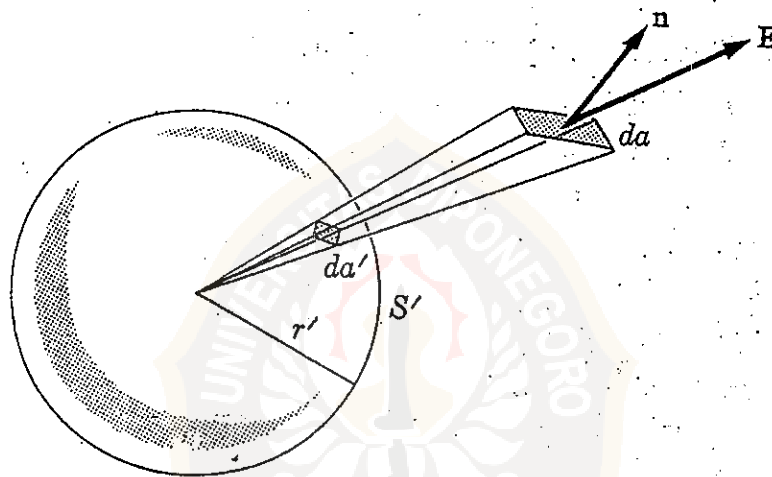
$$\oint_S \frac{\mathbf{r} \cdot \mathbf{n}}{r^3} \, da = \oint_{S'} \frac{\mathbf{r}' \cdot \mathbf{n}}{r'^3} \, da' = 4\pi,$$

yang menunjukkan bahwa

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} \, da = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} 4\pi = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (\text{E.3.3})$$



Gambar E.2. Suatu permukaan rekaan tertutup S yang melingkupi muatan titik di titik asal.



Gambar E.3. Permukaan bentuk bola S' sebagai alat bantu untuk menghitung sudut ruang yang melingkupi da

Setiap muatan melingkupi suatu sudut ruang penuh (4π), sehingga persamaan (E.3.3) menjadi

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} \, da = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^N q_i \quad (\text{E.3.4})$$

Jika S merupakan permukaan tertutup yang membatasi volume V, maka:

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} \, da = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho \, dv \quad (\text{E.3.5})$$

Hukum Gauss dapat pula dinyatakan dalam bentuk lain dengan menggunakan teorema divergensi, yang menyatakan:

$$\oint_S \mathbf{F} \cdot \mathbf{n} \, da = \int_V \nabla \cdot \mathbf{F} \, dv.$$

diterapkan pada integral permukaan maka komponen garis normal medan listrik \mathbf{E} , maka diperoleh:

$$\oint_{S'} \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} \, da = \int_V \nabla \cdot \mathbf{E} \, dv, \quad (\text{E.3.6})$$

Apabila persamaan di atas disubstitusikan ke persamaan (E.3.5), diperoleh

$$\int_V \nabla \cdot \mathbf{E} \, dv = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho \, dv. \quad (\text{E.3.7})$$

Dari persamaan di atas untuk pilihan V yang manapun menunjukkan:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho. \quad (\text{E.3.8})$$

sebagai bentuk divergensi dari hukum Gauss

4. ARUS LISTRIK

Muatan yang bergerak membentuk arus, dan proses pengangkutan muatan disebut penghantaran. Tepatnya arus I didefinisikan sebagai laju pengangkutan muatan melalui permukaan tertentu dari sistem hantar. Jadi

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (\text{E.4.1})$$

bila $Q=Q(t)$ adalah muatan bersih yang diangkut dalam waktu t . Satuan arus dalam sistem mks adalah ampere (A)

5. HUKUM OHM KEHANTARAN

Melalui percobaan diketahui bahwa di dalam logam pada suhu tetap rapat arus \mathbf{J} berbanding lurus dengan medan listriknya (hukum Ohm). Jadi:

$$\mathbf{J} = g\mathbf{E}. \quad (\text{E.5.1})$$

Tetapan g disebut kehantaran. Untuk keadaan umum persamaan (E.5.1) diganti dengan:

$$\mathbf{J} = g(\mathbf{E})\mathbf{E},$$

dengan $g(\mathbf{E})$ merupakan fungsi medan listrik.

Kebalikan dari kehantaran adalah kehambatan η , jadi

$$\eta = \frac{1}{g}. \quad (\text{E.5.2})$$

satuan η dalam sistem mks adalah volt meter per ampere atau ohm meter. Ditinjau penghantar yang berbentuk kawat lurus dengan penampang lintang yang seragam, yang beda potensial pada kedua ujungnya dipertahankan tetap sebesar $\Delta\phi$. Kawat itu dianggap homogen dan dicirikan oleh kehantaran yang tetap, g . Dalam keadaan ini di dalam kawat akan terdapat medan listrik, yang dikaitkan dengan adanya $\Delta\phi$. melalui hubungan:

$$\Delta\phi = \int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}. \quad (\text{E.5.3a})$$

Bahan	$\eta, \Omega \text{ m}$	$\alpha = \frac{1}{\eta} \frac{d\eta}{dT}, (^\circ\text{C})^{-1}$
Aluminium	$2,65 \times 10^{-8}$	0,0043
Tembaga	$1,67 \times 10^{-8}$	0,0068
Emas	$2,35 \times 10^{-8}$	0,004
Besi	$9,71 \times 10^{-8}$	0,0065
Nikel	$6,84 \times 10^{-8}$	0,0069
Perak	$1,59 \times 10^{-8}$	0,0041
Merkuri (air raksa)	$95,8 \times 10^{-8}$	0,0009
Tungsten	$5,51 \times 10^{-8}$	0,0045
Konstantin (Cu 60, Ni 40)	$49,0 \times 10^{-8}$	0,0000
Nikrom	$100,0 \times 10^{-8}$	0,0004
Germanium (murni)	0,46	-0,048
Germanium ($5 \times 10^{-6}\%$ As)	0,011	
Grafit	$1,4 \times 10^{-5}$	
Larutan NaCl (jenuh)	0,044	-0,005
Oksida Aluminium	1×10^{14}	
Kaca	$10^{10}-10^{14}$	
Iodium	$1,3 \times 10^7$	
Kuarsa (SiO ₂)	1×10^{13}	
Belerang	2×10^{15}	
Kayu	10^8-10^{11}	

Tabel E.1. Kehambatan η dan koefisien suhu α dari tahanan beberapa bahan pada suhu 20 C.

Selain itu, karena susunan geometrinya, medan listrik harus sama di semua titik di sepanjang kawat. Oleh karena itu persamaan (E.5.3) berubah menjadi

$$\Delta\phi = \vec{E}l \quad (\text{E.5.3b})$$

dengan l adalah panjang kawat. Tetapi medan listrik memberi petunjuk adanya arus $\mathbf{J} = g \mathbf{E}$. Arus yang melalui penampang manapun dari kawat adalah:

$$I = \int_A \mathbf{J} \cdot \mathbf{n} \, da = JA, \quad (\text{E.5.4})$$

dengan A menyatakan luas penampang lintang kawat. Dengan menggabungkan persamaan (E.5.1) dengan (E.5.3), diperoleh:

$$I = \frac{gA}{l} \Delta\varphi \quad (\text{E.5.5})$$

yang menyatakan hubungan linier antara I dengan $\Delta\varphi$.

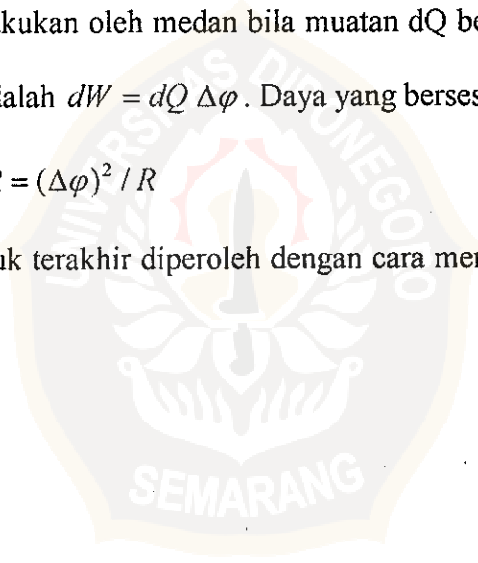
Besaran l/gA disebut hambatan kawat. Hambatan akan ditunjukkan dengan lambang R . Dengan menggunakan R , persamaan (E.5.5) dapat dituliskembali dalam bentuk :

$$\Delta\varphi = RI \quad (\text{E.5.6})$$

Usaha yang dilakukan oleh medan bila muatan dQ bergerak melalui beda potensial $\Delta\gamma$ adalah $dW = dQ \Delta\varphi$. Daya yang bersesuaian adalah:

$$P = I \Delta\varphi = I^2 R = (\Delta\varphi)^2 / R$$

dan kedua bentuk terakhir diperoleh dengan cara menggabungkan dengan hukum Ohm.



LAMPIRAN F

MEDAN MAGNET

1. IMBAS MAGNET

Gaya Coulomb yang bekerja pada muatan q yang terletak pada r dan disebabkan oleh muatan q_1 pada titik asal diberikan oleh bentuk

$$\mathbf{F}_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_1}{r^2} \frac{\mathbf{r}}{r} \quad (\text{F.1.1})$$

jika muatan bergerak tetap beraturan, berturut-turut kecepatan \mathbf{v} dan \mathbf{v}_1 , maka ada tambahan gaya magnet \mathbf{F}_m yang bekerja pada q oleh q_1

$$\mathbf{F}_m = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qq_1}{r^2} \mathbf{v} \times \left(\mathbf{v}_1 \times \frac{\mathbf{r}}{r} \right) \quad (\text{F.1.2})$$

$$\mathbf{F}_m = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}, \quad (\text{F.1.3})$$

Dengan imbas magnet \mathbf{B} adalah:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q_1}{r^2} \mathbf{v}_1 \times \frac{\mathbf{r}}{r} \quad (\text{F.1.4})$$

Jika terdapat baik medan listrik maupun magnet, gaya total pada muatan yang bergerak adalah:

$$\mathbf{F}_e + \mathbf{F}_m,$$
$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}), \quad (\text{F.1.5})$$

yang dikenal dengan gaya Lorentz

2. GAYA PADA PENGHANTAR BERARUS

Dari gaya Lorentz dapat diperoleh persamaan untuk gaya pada bagian panjang dl dari penghantar berarus. Jika dl adalah bagian penghantar dengan arah vektornya diambil searah dengan arus I yang mengalir di dalamnya, maka dl sejajar dengan kecepatan dari pembawa muatan dalam penghantar. Jika ada n pembawa muatan per satuan volume di dalam penghantar, gaya yang bekerja pada bagian panjang dl adalah :

$$d\mathbf{F} = NA |dl| q\mathbf{v} \times \mathbf{B}, \quad (\text{F.2.1})$$

jika ada beberapa macam pembawa muatan, dalam persamaan (F.2.1) harus dimasukkan suatu penjumlahan, meskipun demikian hasil akhirnya tidak berubah. Karena \mathbf{v} sejajar dl , bentuk lain dari persamaan (F.2.1) adalah:

$$d\mathbf{F} = Nq|v|A d\mathbf{l} \times \mathbf{B}; \quad (\text{F.2.1})$$

tetapi $Nq|v|A$ hanya arus listrik untuk satu jenis pembawa muatan.

Karena itu ungkapan:

$$d\mathbf{F} = I d\mathbf{l} \times \mathbf{B} \quad (\text{F.2.2})$$

dituliskan untuk menyatakan gaya pada bagian kecil dari panjang penghantar berarus.

3. HUKUM BIOT-SAVART

Medan magnet yang ditimbulkan oleh suatu kawat panjang lurus.

Dibayangkan bahwa kawat itu terletak di sepanjang sumbu x dari ~ ~ ~

dan mengalirkan arus I . Medan akan dihitung di titik r_2 pada sumbu y .

Dari gambar F.1 magnet imbasnya adalah:

$$\mathbf{B}(r_2) = \frac{\mu_0}{4\pi} I \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d\mathbf{x}_i \times (r_2 - r_1)}{|r_2 - r_1|^3} \quad (\text{F.3.1})$$

Karena $r_2 - r_1$ terletak pada bidang xy

$$\mathbf{i} \times (r_2 - r_1) = |r_2 - r_1| \sin \theta \mathbf{k} \quad (\text{F.3.2})$$

Selanjutnya

$$\frac{a}{x} = \tan(\pi - \theta) = -\tan \theta \quad (\text{F.3.3})$$

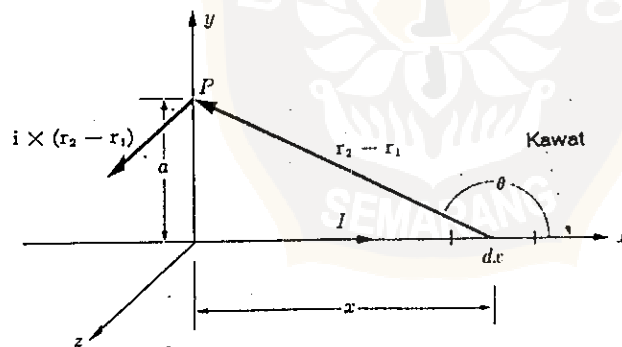
dan

$$|r_2 - r_1| = a \csc(\pi - \theta) = a \csc \theta \quad (\text{F.3.4})$$

Dengan menggunakan beberapa hubungan itu untuk mengubah persamaan

(F.3.1) menjadi integral untuk θ dari 0 hingga π dihasilkan :

$$\mathbf{B}(r_2) = \frac{\mu_0}{4\pi} I \mathbf{k} \frac{1}{a} \int_0^\pi \sin \theta d\theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} \mathbf{k} (-\cos \theta) \Big|_0^\pi = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \mathbf{k} \quad (\text{F.3.1})$$



Gambar F.1. Medan Magnet di titik P yang ditimbulkan oleh arus I dalam kawat panjang lurus

Imbas magnet yang ditimbulkan oleh gambar F.2 adalah:

$$\begin{aligned} d\mathbf{l} &= a d\theta (-\mathbf{i} \sin \theta + \mathbf{j} \cos \theta), \\ r_2 - r_1 &= -ia \cos \theta - ja \sin \theta + kz, \\ |r_2 - r_1| &= (a^2 + z^2)^{1/2}. \end{aligned} \quad (\text{F.3.5})$$

Dengan mensubstitusikan persamaan tersebut dalam persamaan

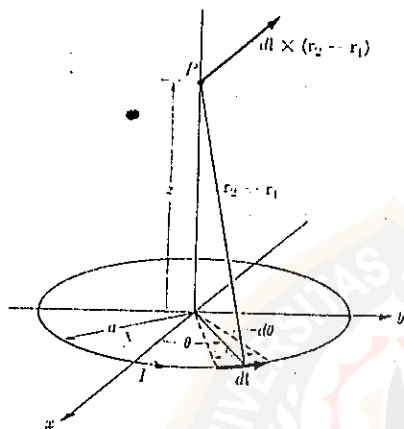
$$\mathbf{B}(\mathbf{r}_2) = \frac{\mu_0}{4\pi} I_1 \int_1 \frac{d\mathbf{l}_1 \times (\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1)}{|\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1|^3}$$

menghasilkan

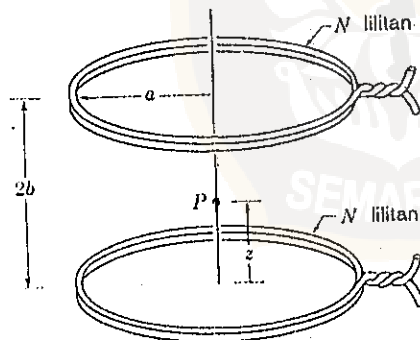
$$\mathbf{B}(z) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{(iza \cos \theta + jza \sin \theta + ka^2)}{(z^2 + a^2)^{3/2}} d\theta \quad (\text{F.3.6})$$

Dua suku yang pertama terintegrasi menjadi nol, sehingga menjadi:

$$\mathbf{B}(z) = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{a^2}{(z^2 + a^2)^{3/2}} \mathbf{k} \quad (\text{F.3.7})$$



Gambar F.2. Medan sumbu suatu lilitan melingkar



Gambar F.3. Medan sumbu suatu kumparan Helmholtz

4. FLUKS MAGNET

Besaran

$$\Phi = \int_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} da \quad (\text{F.4.1})$$

dikenal sebagai fluks magnet, dan diukur dalam satuan weber (Wb). Fluks yang melewati permukaan tertutup sama dengan nol, seperti dapat dilihat dengan menghitung:

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} \, da = \int_V \nabla \cdot \mathbf{B} \, dv = 0. \quad (\text{F.4.2})$$

Di sini diketahui bahwa fluks yang melalui suatu rangkaian tidak bergantung pada permukaan tertentu yang digunakan untuk menghitung fluks.

5. PERSAMAAN MEDAN

Persamaan pokok yang menggambarkan pengaruh magnet dari arus listrik diungkapkan dalam bentuk:

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0, \quad \nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J}$$

Dalam keadaan umum persamaan ini ditulis sebagai:

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{J} + \mathbf{J}_M), \quad (\text{F.5.1})$$

dengan \mathbf{J} adalah rapat arus perangkutan dan \mathbf{J}_M adalah rapat arus permagnetan.

$$\mathbf{J}_M = \nabla \times \mathbf{M}.$$

Persamaan di atas digabung dengan (F.5.1) menghasilkan:

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu_0} \mathbf{B} - \mathbf{M} \right) = \mathbf{J},$$

yang setara dengan

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J}. \quad (\text{F.5.2})$$

Dalam beberapa hal lebih disukai untuk menggunakan rumusan integral dari teori. Dengan bantuan Hukum Stokes, (F.5.2) dapat diubah menjadi:

$$\int_S \nabla \times \mathbf{H} \cdot \mathbf{n} \, da = \oint_C \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l}$$

$$= \int_S \mathbf{J} \cdot \mathbf{n} \, da,$$

atau

$$\oint_C \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I. \quad (\text{F.5.3})$$

Karena teori divergensi, $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$ setara dengan

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} \, da = 0. \quad (\text{F.5.4})$$

6. ENERGI MAGNET

Jika suatu sumber tegangan \mathcal{V} dipasang pada suatu rangkaian maka umumnya arus yang mengalir di dalam rangkaian dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\mathcal{V} + \mathcal{E} = IR, \quad (\text{F.6.1})$$

dengan \mathcal{E} adalah ggl imbas dan R hambatan rangkaian arus. Kerja yang dilakukan oleh \mathcal{V} untuk menggerakkan pertambahan muatan $dq = I \, dt$ di dalam rangkaian adalah:

$$\begin{aligned} \mathcal{V} \, dq &= \mathcal{V} I \, dt = -\mathcal{E} I \, dt + I^2 R \, dt \\ &= I \, d\Phi + I^2 R \, dt, \end{aligned} \quad (\text{F.6.2})$$

dengan tanpa memperhatikan suku $I^2 R \, dt$ ditulis:

$$dW_b = I \, d\Phi, \quad (\text{F.6.3})$$

Jika ada n buah rangkaian, maka berdasarkan persamaan (F.6.3) kerja listrik yang dilakukan untuk melawan semua ggl imbas yang ada adalah:

$$dW_b = \sum_{i=1}^n I_i \, d\Phi_i. \quad (\text{F.6.4})$$

LAMPIRAN G

IMBAS LISTRIK-MAGNET

1. IMBAS LISTRIK-MAGNET

Persamaan yang mencirikan listrik statis adalah

$$\nabla \times \mathbf{E} = 0,$$

atau dalam bentuk integralnya

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0.$$

Persamaan ini diturunkan langsung dari hukum Coulomb.

Gaya gerak listrik pada suatu rangkaian tertutup adalah

$$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \mathcal{E}. \quad (\text{G.1.1})$$

Untuk medan statik \mathbf{E} dan \mathbf{B} , gaya gerak listrik ini selalu nol. Medan \mathbf{E} ditentukan sedemikian sehingga gaya Lorentz

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

selalu merupakan gaya listrik-magnet pada muatan uji q .

Dari sejumlah percobaan, dapat menghubungkan ggl sebagai:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (\text{G.1.2})$$

Dengan perubahan fluks magnet pada suatu rangkaian.

Karena menurut definisi (G.1.1) dan

$$\Phi = \int_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} \, da, \quad (\text{G.1.3})$$

persamaan (G.1.2) dapat ditulis sebagai:

$$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} \, da. \quad (\text{G.1.4})$$

2. INDUKTANSI DIRI

Untuk suatu rangkaian tegar hanya ada perubahan dalam fluks saja yang dihasilkan dari perubahan dalam arus. Yaitu,

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{d\Phi}{dI} \frac{dI}{dt}, \quad (\text{G.2.1})$$

Induktansi L didefinisikan sebagai

$$L = \frac{d\Phi}{dI} \quad (\text{G.2.2})$$

Dari persamaan (G.2.1), (G.2.2), dan persamaan

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Didapatkan bahwa persamaan ggl imbas

$$\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt}, \quad (\text{G.2.3})$$



LAMPIRAN H

1. PERSAMAAN MAXWELL

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (\text{H.1.1})$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}, \quad (\text{H.1.2})$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho, \quad (\text{H.1.3})$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0. \quad (\text{H.1.4})$$

Persamaan (H.1.1) menyatakan perluasan Hukum Ampere, persamaan (H.1.2) adalah diferensial hukum imbas listrik magnet Faraday, persamaan (H.1.3) adalah hukum Gauss yang berasal dari Hukum Coulomb, persamaan (H.1.4) menunjukkan tidak pernah teramatinya kutub magnet tunggal.

2. ENERGI LISTRIK MAGNET

Diperlihatkan bahwa besaran

$$U_E = \frac{1}{2} \int_V \mathbf{E} \cdot \mathbf{D} \, dv \quad (\text{H.2.1})$$

dapat dikaitkan dengan energi potensial listrik-statik dari sistem muatan yang menimbulkan medan listrik. Ini diturunkan dengan cara menghitung usaha yang dilakukan pada waktu membentuk medan. Dengan cara serupa

$$U_M = \frac{1}{2} \int_V \mathbf{H} \cdot \mathbf{B} \, dv \quad (\text{H.2.2})$$

3. PERSAMAAN GELOMBANG

Persamaan gelombang H diturunkan dengan cara mengambil curl dari

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

Sehingga didapatkan

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{H} = \nabla \times \mathbf{J} + \nabla \times \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

Dengan mengambil $\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}$ dan $\mathbf{J} = g \mathbf{E}$ dan menganggap g dan ϵ sebagai tetapan, diperoleh

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{H} = g \nabla \times \mathbf{E} + \epsilon \frac{\partial}{\partial t} \nabla \times \mathbf{E}$$

Untuk menghilangkan $\nabla \times \mathbf{E}$ digunakan persamaan

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

Sehingga diperoleh

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{H} = -g\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} - \epsilon\mu \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} \quad (\text{H.3.1})$$

Dengan menggunakan $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$, dengan μ sebagai tetapan. Kesamaan vektor

$$\nabla \times \nabla \times = \nabla \nabla \cdot - \nabla^2 \quad (\text{H.3.2})$$

digunakan untuk memperoleh

$$\nabla \nabla \cdot \mathbf{H} - \nabla^2 \mathbf{H} = -g\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} - \epsilon\mu \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} \quad (\text{H.3.3})$$

Karena μ suatu tetapan,

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = \frac{1}{\mu} \nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

Akibatnya, suku pertama pada ruas kiri persamaan (H.3.3) lenyap. Persamaan gelombang terakhir adalah

$$\nabla^2 \mathbf{H} - \epsilon\mu \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} - g\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = 0. \quad (\text{H.3.4})$$