

ABSTRAK

Wirawan Wibowo:

Studi Visibilitas Penggunaan Evaporative Cooling
Dalam Sistem Pengkondisian Udara di Gedung T U.K. Petra

Penggunaan *evaporative cooler* saat ini belum banyak diterapkan. Padahal, *evaporative cooler* sangat ramah lingkungan, tidak membutuhkan banyak energi input, serta dapat membersihkan udara. Pada tugas akhir ini dilakukan studi visibilitas penggunaan *evaporative cooler* dalam sistem pengkondisian udara secara teknis dan ekonomis di daerah tropis seperti gedung T Universitas Kristen Petra, Surabaya.

Analisa dilakukan dengan membandingkan antara sistem pengkondisian udara tanpa *evaporative cooler* dan dengan *evaporative cooler*.

Sistem pengkondisian udara dengan *evaporative cooler* lebih layak secara teknis dan ekonomis daripada sistem pengkondisian udara tanpa *evaporative cooler*.

Kata kunci:

Studi Visibilitas, Evaporative Cooler

ABSTRACT

Wirawan Wibowo:

*Study of Visibility Usage Evaporative Cooling
In Condition Air System At T building of Petra Christian University.*

Usage of evaporative cooler in this time not many yet applied. Though, gracious cooler evaporative is environmental, its do not require many input energi, and also can clear the air. At this final duty studied by visibility usage of evaporative cooler in condition of air system, technically and economic in trop like building of T University Christian of Petra, Surabaya.

Analysis can be done/conducted by comparing between Condition Air System without evaporative cooler and with evaporative cooler.

Condition Air System with evaporative cooler more competent technically and economic than Condition Air System without evaporative cooler.

Key words:

Visibility Study, Evaporative Cooler

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| DATA SKRIPSI | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN..... | iii |
| LEMBAR PENGALIHAN HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL..... | iv |
| UCAPAN TERIMA KASIH..... | v |
| ABSTRAK..... | vi |
| DAFTAR ISI..... | vii |
| DAFTAR GAMBAR..... | x |
| DAFTAR TABEL..... | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xiv |
| DAFTAR SIMBOL..... | xvi |
| I. PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1. Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2. Permasalahan..... | 2 |
| 1.3. Tujuan..... | 2 |
| 1.4. Manfaat..... | 3 |
| 1.5. Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.6. Metodologi..... | 3 |
| II. LANDASAN TEORI..... | 5 |
| 2.1. Udara..... | 5 |
| 2.1.1. Psikometrik Chart..... | 5 |
| 2.1.2. Istilah-istilah dalam Psikometrik Chart..... | 5 |
| 2.1.3. Proses Pengubahan Kondisi Udara..... | 7 |
| 2.2. Sistem Pengkondisian Udara..... | 12 |
| 2.3. <i>Apparatus Dew Point</i> | 15 |
| 2.4. <i>Sensible Heat Factor</i> | 16 |
| 2.5. <i>By Pass Factor</i> | 18 |
| 2.6. Perhitungan Kebutuhan Udara..... | 19 |
| 2.7. <i>Apparatus Dew Point</i> Pada Grafik Psikometrik..... | 22 |
| 2.8. Mesin Penyegar Udara..... | 23 |
| 2.9. Terminal Unit..... | 25 |
| 2.9.1. Unit Pengolah Udara (<i>Air Handling Unit</i>)..... | 25 |
| 2.9.2. Unit Koil Kipas Udara..... | 26 |

| | | |
|----------|---|----|
| 2.10. | Saringan Udara..... | 27 |
| 2.11. | <i>Evaporative Cooling</i> | 28 |
| 2.11.1. | Menara Pendingin..... | 28 |
| 2.11.2. | <i>Evaporative Cooler</i> | 30 |
| 2.11.3. | <i>Air Washer</i> | 31 |
| 2.12. | Penggunaan <i>Evaporative Cooler</i> | 32 |
| 2.12.1. | <i>Direct Evaporative Cooler</i> | 32 |
| 2.12.2. | <i>Indirect Evaporative Cooler</i> | 32 |
| 2.13. | Sistem Perpipaan..... | 33 |
| 2.13.1. | Air yang Tidak Berhubungan Dengan Udara Atmosfer..... | 34 |
| 2.13.2. | Air yang Berhubungan Dengan Udara Atmosfer..... | 36 |
| 2.14. | Pompa..... | 36 |
| 2.15. | Analisa Teknik Dan Biaya..... | 38 |
| 2.15.1 | <i>Geometric-gradient-series factor</i> | 40 |
| III. | ANALISA..... | 41 |
| 3.1. | Bangunan yang Menjadi Objek Studi Kelayakan..... | 41 |
| 3.2. | Pemilihan Sistem Pengkondisian Udara..... | 42 |
| 3.3. | Perhitungan Jumlah Kebutuhan Udara..... | 45 |
| 3.4. | Unit Pengolah Udara (<i>Air Handling Unit</i>)..... | 46 |
| 3.4.1. | AHU Tanpa <i>Evaporative Cooler</i> | 46 |
| 3.4.2. | AHU Dengan <i>Evaporative Cooler</i> | 49 |
| 3.4.2.1. | Pencampuran Udara Setelah Koil Pendingin Pada AHU Dengan <i>Evaporative Cooler</i> | 49 |
| 3.4.2.2. | Pencampuran Udara Sebelum <i>Pad</i> Pada <i>Evaporative Cooler</i> kemudian dialirkan ke AHU..... | 52 |
| 3.4.2.3. | Udara Ventilasi Dan Udara Balik Dicampur Sebelum Melewati Koil Pendingin..... | 54 |
| 3.4.3. | Pemilihan AHU | 57 |
| 3.5. | Saringan Udara | 59 |
| 3.6. | <i>Evaporative Cooler</i> | 59 |
| 3.6.1. | Jumlah Air yang Hilang Pada <i>Evaporative Cooler</i> | 60 |
| 3.7. | Pemilihan Mesin Pendingin..... | 61 |
| 3.8. | Pemilihan Menara Pendingin..... | 63 |
| 3.8.1. | Menara Pendingin Pada Sistem Tanpa <i>Evaporative Cooler</i> ... | 63 |
| 3.8.2. | Menara Pendingin Pada Sistem dengan <i>Evaporative Cooler</i> . | 63 |
| 3.9. | Sistem Perpipaan Air Pendingin..... | 64 |
| 3.9.1. | Sistem Perpipaan pada AHU tanpa <i>evaporative cooler</i> | 64 |
| 3.9.1.1. | Sistem Perpipaan Air Pendingin Dari Evaporator Mesin Pendingin Ke AHU..... | 64 |
| 3.9.1.2. | Sistem Perpipaan Air Pendingin Dari Kondensor Mesin Pendingin Ke Menara Pendingin..... | 69 |
| 3.9.2. | Sistem Perpipaan pada AHU Dengan <i>Evaporative Cooler</i> ... | 71 |
| 3.9.2.1. | Sistem Perpipaan Air Pendingin Dari Evaporator Mesin Pendingin Ke AHU Pada AHU Dengan <i>evaporative cooler</i> | 71 |
| 3.9.2.2. | Sistem Perpipaan Air Pendingin Dari Kondensor Mesin Pendingin Ke Menara Pendingin Pada | |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| 1.1 Metodologi penulisan | 4 |
| 2.1. <i>Psychometric Chart</i> | 7 |
| 2.2. <i>Heating Air without Adding Moisture</i> | 8 |
| 2.3. <i>Heating Air with Humidificatian and Constant Relaaive Humidity</i> | 9 |
| 2.4. <i>Cooling with Constant Enthalpy</i> | 9 |
| 2.5. <i>Cooling Air with Constant Moisture Content</i> | 10 |
| 2.6. <i>Cooling with Dehumidification</i> | 11 |
| 2.7. <i>Air Mixing Process</i> | 11 |
| 2.8. <i>All water system</i> | 13 |
| 2.9. <i>All air system</i> | 14 |
| 2.10. <i>Air water system</i> | 15 |
| 2.11. Udara mengalami <i>cooling</i> dan <i>dehumidifying</i> setelah melewati pipa koil pendingin..... | 16 |
| 2.12. Menentukan garis kondisi ruang, ADP, dan temperatur udara keluar dari koil pada grafik psikometrik..... | 18 |
| 2.13. Hubungan ADP, dan SHF untuk BPF = 0 dan 100% udara disirkulasikan pada grafik psikometrik Analisis Aktifitas..... | 20 |
| 2.14. Hubungan ADP, dan SHF untuk BPF 0 dan 100% udara disirkulasikan pada grafik psikometrik..... | 21 |
| 2.15. Hubungan ADP, dan SHF untuk BPF 0 dan terdapat udara ventilasi pada grafik psikometrik..... | 22 |
| 2.16. <i>Apparatus Dew Point</i> pada diagram psikometrik | 23 |
| 2.17. Empat komponen dari mesin pendingin..... | 25 |
| 2.18. Unit pengolah udara..... | 25 |
| 2.19. Unit koil kipas udara..... | 26 |
| 2.20. Batasan kelas kebersihan udara..... | 28 |

| | |
|--|----|
| 2.21. Menara pendingin tarikan paksa..... | 30 |
| 2.22. <i>Evaporative cooler</i> | 31 |
| 2.23. <i>Air Washer</i> | 32 |
| 2.24. <i>Indirect evaporative cooler</i> | 33 |
| 2.25. Sistem perpipaan jenis tertutup (<i>closed system</i>)..... | 34 |
| 2.26. <i>Series Loop</i> | 34 |
| 2.27. <i>One Pipe Main</i> | 35 |
| 2.28. <i>Two Pipe Direct Return</i> | 35 |
| 2.29. <i>Two Pipe Reverse Return</i> | 35 |
| 2.30. Sistem perpipaan jenis terbuka (<i>open system</i>)..... | 36 |
| 2.31. <i>Geometric gradient series</i> untuk $g > 0$ | 40 |
| 3.1. <i>All Water System</i> dengan <i>Evaporative Cooler</i> | 42 |
| 3.2. <i>Air-Water System</i> | 43 |
| 3.3. AHU konvensional..... | 44 |
| 3.4. AHU dengan <i>Evaporative Cooler</i> | 44 |
| 3.5. Pencampuran Udara sebelum koil pada AHU tanpa <i>evaporative cooler</i> . | 46 |
| 3.6. Pencampuran Udara sebelum koil untuk AHU tanpa <i>evaporative cooler</i> pada psikometrik..... | 48 |
| 3.7. Pencampuran Udara setelah koil pada AHU dengan <i>evaporative cooler</i> | 50 |
| 3.8. Pencampuran Udara setelah koil untuk AHU dengan <i>evaporative cooler</i> pada psikometrik..... | 51 |
| 3.9. Pencampuran Udara Sebelum Pad Pada <i>Evaporative Cooler</i> kemudian dialirkan ke AHU..... | 52 |
| 3.10. Pencampuran Udara Sebelum <i>Pad</i> Pada <i>Evaporative Cooler</i> kemudian dialirkan ke AHU pada psikometrik..... | 54 |

| | |
|---|----|
| 3.11. Pencampuran Udara sebelum koil pada AHU dengan <i>evaporative cooler</i> | 55 |
| 3.12. Pencampuran Udara sebelum koil untuk AHU dengan <i>evaporative cooler</i> pada psikometrik..... | 57 |
| 3.13. Sistem Perpipaan dari Mesin Pendingin ke AHU | 66 |
| 3.14. Jalur Terpanjang Dari Mesin Pendingin Ke AHU | 67 |
| 3.15. Sistem Perpipaan dari <i>Chiller</i> Ke <i>Cooling Tower</i> | 70 |
| 3.16. Sistem Perpipaan dari Drum Ke <i>Evaporative Cooler</i> | 75 |
| 3.17. Diagram arus kas sistem tanpa <i>evaporative cooler</i> | 81 |
| 3.18. Diagram arus kas sistem dengan <i>evaporative cooler</i> | 82 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| 2.1. Komposisi Udara | 5 |
| 3.1. Jenis dan Harga AHU tanpa <i>Evaporative Cooler</i> | 58 |
| 3.2. Jenis dan Harga AHU dengan <i>Evaporative Cooler</i> | 58 |
| 3.3. Harga <i>Filter</i> Pada AHU Tanpa <i>Evaporative Cooler</i> | 59 |
| 3.4. Harga <i>Filter</i> Pada AHU Dengan <i>Evaporative Cooler</i> | 59 |
| 3.5. Jenis dan Harga <i>Evaporative Cooler</i> | 60 |
| 3.6. Perhitungan Pipa Untuk Jalur AHU4b –AHUb pada Sistem Tanpa <i>Evaporative cooler</i> | 68 |
| 3.7. Perhitungan Pipa Untuk Jalur 5 – 12 pada Sistem Tanpa <i>Evaporative cooler</i> | 71 |
| 3.8. Perhitungan Pipa Untuk Jalur AHU4b – AHUb Pada Sistem dengan <i>Evaporative Cooler</i> | 72 |
| 3.9. Perhitungan Pipa Untuk Jalur 2 – 4 Pada Sistem dengan <i>Evaporative Cooler</i> | 74 |
| 3.10. Perhitungan Pipa Untuk Jalur Drum – Evapb..... | 75 |
| 3.11. Tinggi angkat pompa dari evaporator ke AHU pada sistem tanpa <i>evaporative cooler</i> | 76 |
| 3.12. Tinggi angkat pompa dari evaporator ke AHU pada sistem dengan <i>evaporative cooler</i> | 76 |
| 3.13. Tinggi angkat pompa dari evaporator ke AHU pada sistem tanpa <i>evaporative cooler</i> | 77 |
| 3.14. Tinggi angkat pompa dari evaporator ke AHU pada sistem dengan <i>evaporative cooler</i> | 77 |
| 3.15. Jenis Pompa..... | 78 |
| 3.16. Jenis dan Harga Pompa..... | 78 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | | |
|-----|---|-----|
| 1. | Beban Pendingin | 86 |
| 2. | Beban Pendingin(Lanjutan)..... | 87 |
| 3. | Beban Pendingin(Lanjutan)..... | 88 |
| 4. | Standard Ventilasi | 89 |
| 5. | <i>Bypass Factor</i> | 89 |
| 6. | Kebutuhan Udara Lantai Dasar | 90 |
| 7. | Kebutuhan Udara Lantai I | 91 |
| 8. | Kebutuhan Udara Lantai II | 92 |
| 9. | Kebutuhan Udara Lantai III | 93 |
| 10. | Kebutuhan Udara Lantai IV | 94 |
| 11. | Perhitungan laju aliran air dan Beban Pendinginan | 95 |
| 12. | Spesifikasi AHU Tanpa <i>Evaporative Cooler</i> | 96 |
| 13. | Spesifikasi AHU yang dipasangkan dengan <i>evaporative cooler</i> | 96 |
| 14. | <i>Evaporative Cooler</i> | 97 |
| 15. | Hasil Perhitungan Jumlah Air yang Hilang Pada <i>Evaporative Cooler</i> ... | 97 |
| 16. | Data Mesin Pendingin pada Sistem Tanpa <i>Evaporative Cooler</i> | 98 |
| 17. | Data Mesin Pendingin pada Sistem Konvensional yang Dipasangkan dengan <i>Evaporative Cooler</i> | 99 |
| 18. | Data Menara Pendingin LRC-LN 700..... | 100 |
| 19. | Kecepatan aliran air dalam pipa..... | 100 |
| 20. | <i>Fitting Losses</i> | 100 |
| 21. | <i>Valve Losses</i> | 101 |
| 22. | Grafik Pemilihan Pompa..... | 101 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 23. | Diagram Moody..... | 102 |
| 24. | <i>Friction Loss For Closed Piping</i> | 103 |
| 25. | <i>Friction Loss For Open Piping</i> | 104 |
| 26. | <i>Cooling Tower Selection Chart</i> | 105 |
| 27. | Diagram Psikometrik | 106 |

DAFTAR SIMBOL

| Simbol | Arti | Satuan |
|------------------|---|------------------------|
| ADP | <i>Apparatus Dew Point</i> | EF atau EC |
| ADP _R | Temperatur udara jenuh dalam ruangan | EF atau EC |
| ADP _C | Temperatur rata-rata permukaan koil pendingin | EF atau EC |
| BPF | <i>By Pass Factor</i> | - |
| C _p | Kalor jenis fluida | Kkal/(kg. EC) |
| cfm ₁ | Jumlah udara balik | ft ³ /menit |
| cfm ₂ | Jumlah udara segar | ft ³ /menit |
| cfm ₃ | Jumlah udara suplai | ft ³ /menit |
| D atau d | Diameter dalam pipa | m |
| DB | Temperatur udara kering | EF atau EC |
| F ₁ | Jumlah uang pada tahun ke-1 | Rupiah |
| f | Faktor koreksi | - |
| g | Percepatan gravitasi | m/s ² |
| g' | Faktor gradient geometrik | % |
| H | Tinggi angkat total pompa | mH ₂ O |
| H _M | Entalpi udara sebelum memasuki koil | Btu/lb |
| H _L | Entalpi udara meninggalkan koil | Btu/lb |
| h _d | Tahanan lokal dari sistem pipa | mH ₂ O |
| h _f | Kerugian gesek pada pipa lurus | mH ₂ O |
| h _m | Tahanan dari perlengkapan | mH ₂ O |
| h _s | Tinggi angka statik | mH ₂ O |
| i | Tingkat bunga | % |
| L | Panjang pipa | m |
| LH | Kalor laten | W |
| mE | Laju massa udara | Kg/menit |
| P | Tekanan | Kg/m ² |
| PW | <i>Present Worth Amount</i> | Rupiah |
| Q | Jumlah air pendingin | Liter/detik |
| Re | <i>Reynold Number</i> | - |

| | | |
|----------|--|--------------------------|
| RSHF | <i>Room Sensible Heat Factor</i> | - |
| SH | Kalor sensibel | W |
| T_{la} | Temperatur udara meninggalkan koil | EF atau EC |
| T_r | Temperatur udara ruangan yang dikondisikan | EF atau EC |
| V | Kecepatan air atau kecepatan udara | m/s |
| WB | Temperatur bola basah | EF atau EC |
| %eff | Efisiensi <i>Evaporative Cooler</i> | % |
| Δ | Massa jenis fluida | Kg/m^3 |
| Φ | Viskositas udara | $\text{Kg}/(\text{m.s})$ |
| < | Volume spesifik | ft^3/lb |